Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2011/12/13 : CIA-RDP80T00246A015400420001-4

50X1-HUM

Page Denied

Next 4 Page(s) In Document Denied

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2011/12/13 : CIA-RDP80T00246A015400420001-4

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2011/12/13 : CIA-RDP80T00246A015400420001-4

FOR OFFICIAL USE ONLY

Vliv síranu molybdeničitého na kluzné vlastnosti šedé litiny v axiálních ložiskách

Ing. V. ŠEVČÍK, SVÚTT, Praha

Článek přináší informace o výsledcích výzkumných prací, jejichž účelem bylo zjištění vlivu MoS_2 na kluzné vlastnosti a opotřebení segmentů ze šedé litiny, použitých v axiálních ložiskách turbín vodních elektráren. Tato ložiska pracují za nepříznivých podmínek, vzhledem k tomu, že segmenty se musí často manipulovat a mnou spouštět. Řada závěrů a zkušeností zjištěných v průběhu zkoušek má obecnou platnost a dá se aplikovat tudíž i na jiná obdobná ložiska.

Úvod

Jednou z častých příčin poruch axiálních segmentových ložisek jsou kluzné poměry při rozběhu a doběhu stroje, kdy v důsledku malé rychlosti nepracují značně zatížená ložiska v oblasti kapalinného tření, nýbrž v oblasti mezního mazání (mezního tření). Mezi třecími plochami chybí vrstva volných molekul maziva a kluzné plochy ložiska nejsou vzájemně úplně odděleny. Proto vznikají ztráty výkonu třením a dochází k opotřebení. Tím se životnost ložisek zkracuje. Projevuje se to zvláště výrazně u turbín špičkových vodních elektráren, jejichž agregáty se i několikrát denně spouštějí a zastavují.

K rychlému a poměrně snadnému odstranění tohoto potíží se v cizí technické literatuře doporučuje zlepšit poměry pomocí síranu molybdeničitého (MoS_2), naneseného na kluzné plochy. V ČSSR nebylo s použitím MoS_2 v axiálních ložiskách zkušeností, a proto vykonal Státní výzkumný ústav tepelné techniky potřebný výzkum. Jeho výsledky jsou stručně uvedeny v tomto článku.

O struktuře a mazacích vlastnostech MoS_2 pojednává [1], [2], [3], [4], [5], [6].

Rozsah výzkumu

K přilnutí částic MoS_2 ke kluznému povrchu se vysvětluje působením adsorpčních sil mezi částicemi MoS_2 a materiálem kluzné plochy. Proto je přilnutí MoS_2 tím lepší, čím je plocha chemicky čistší a čím účinnějším způsobem byl MoS_2 do ní vtírán. MoS_2 se dodává v podstatě ve čtyřech základních druzích: prášek, suspenze v oleji minerálním či syntetickém, v tuku a v kluzném laku. Na chemicky čisté ploše by měl nejlépe ulpět prášek MoS_2, neboť uplatnění adsorpčních sil brání jen kvalitní kovový povrch kluzné plochy. Při použití MoS_2 v oleji, tuku či laku brání uplatnění adsorpčních sil kromě kyslíkových kovů též vrstva maziva nebo laku. Při našich pokusech bylo zkoumáno, jaký vliv na kluzné vlastnosti má jednak prášek MoS_2, jednak olejová suspenze MoS_2. Převažuje v oblasti hydrodynamického mazání, tj. při dostatečně velké kluzné rychlosti, kdy kluzné plochy jsou oddělený vrstvou maziva, se vliv MoS_2 nemůže projevit. Zvolena byla velmi malá kluzná rychlost (0,1 až 0,5 m/s) a takové měrné zatížení (max. 30 kg/cm²), aby se dosáhlo mezního tření.

Délka doby působení MoS_2 na kluzné vlastnosti materiálu závisí na trvanlivosti vrstvy MoS_2. Trvanlivost této vrstvy ovlivňují hlavně

a) druh materiálu kluzných ploch,

b) povrchová úprava kluzných ploch před vtíráním MoS_2,

c) střední drsnost kluzných ploch před vtíráním a po vtírání MoS_2,

d) použitý druh MoS_2, jeho čistota a zrnění jeho částic,

e) způsob vytvoření vrstvy MoS_2 na kluzných plochách,

f) druh maziva použitého v provozu.

Pokusy byly konány s kluznou dvojicí ocel ČSN 11 700 — litina ČSN 42 2456, která je doporučena v normě ČSN 02 3092. Segmenty axiálních ložisek jsou obvykle ocelové s vrstvou kompozice, která má velmi dobré kluzné vlastnosti v oblasti mezního mazání. Segmenty ze šedé litiny se vyrábějí dosud jen zřídka, ačkoli by se jejich použitím dosáhlo významných úspor deficitních materiálů. Důvodem omezeného používání jsou nevhodné kluzné vlastnosti šedé litiny v oblasti mezního tření [7].

K vyzkoušení vlivu úpravy povrchu plochy před vtíráním na trvanlivost vrstvy vtřeného MoS_2 byly konány pokusy jednak se segmenty, jejichž kluzné plochy nebyly před vtíráním čištěny, jednak se segmenty čištěnými.

Před vtíráním MoS_2 byly kluzné plochy pečlivě odmaštěny extrakčním benzinem a tetrachlormetanem. MoS_2 se vtíral pomocí ocelového válečku při měrném zatížení 500 kg/cm².

Při pokusech byly voleny takové druhy ložiskových olejů, aby jejich viskozita při dané teplotě odpovídala viskozitě oleje užívaného během v ložiskách turbín.

Podrobné údaje o úpravě kluzných ploch a vtírání MoS_2 jsou uvedeny v [8].

Posuzování vlivu MoS_2 na kluzné vlastnosti materiálu

Při posuzování vlivu MoS_2 na kluzné vlastnosti zkoušené dvojice materiálu v oblasti mezního mazání je třeba uvážit tyto okolnosti:

Na začátku pokusu, resp. práce nezaběhaného ložiska může nastat v oblasti mezního tření buď zaběhávání kluzných ploch, nebo jejich zadírání. Za nepříznivých kluzných podmínek může dojít k zadření i na plochách již zaběhnutých.

FOR OFFICIAL USE ONLY

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2011/12/13 : CIA-RDP80T00246A015400420001-4

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2011/12/13 : CIA-RDP80T00246A015400420001-4

FOR OFFICIAL USE ONLY

při zaběhávání kluzných ploch [illegible] se zmenšuje a hodnota součinitele tření klesá. Po zaběhnutí se obě veličiny ustálí na určité hodnotě, pokud se ovšem nezhorší podmínky, za jakých zaběhávání probíhalo. Ke zlepšení zadírání kluzných ploch se náhle zvýší jak jejich drsnost, tak i součinitel tření.

Začne-li se během pokusu — při zachování stále stejných zkušebních podmínek na zaběhaných kluzných plochách — měnit hodnota součinitele tření, aniž by se v odpovídající míře měnila drsnost kluzných ploch, musely se změnit kluzné vlastnosti alespoň jedné z trouceních se ploch. Pozůstává-li se nezměnila drsnost, musel se změnit materiál kluzné plochy. Takový případ též nastává při opotřebení povrchové kluzné vrstvy MoS_2, vrstvy fosfátu apod.

Aby bylo opotřebení povrchové vrstvy dobře patrné z průběhu změn hodnot součinitele tření, byl MoS_2 vtírán vždy jen do jedné z obou kluzných ploch zkoumané dvojice materiálu. V našem případě to byla šedá litina.

Z uvedeného plyne, že vliv MoS_2 na kluzné vlastnosti zkoušené dvojice materiálu lze posuzovat podle dvou základních hodnot, tj. součinitele tření a opotřebení kluzných ploch.

Předpokládáme-li, že MoS_2 zlepšuje kluzné vlastnosti, musí nastat tyto jevy:

a) součinitel tření dvojice ocel — šedá litina s vetřeným MoS_2 musí mít menší hodnoty než při tření stejných materiálů, avšak bez MoS_2;

b) zaběhávání kluzných ploch s MoS_2 musí probíhat příznivěji než u ploch bez vrstvy MoS_2, tj. pokles počáteční hodnoty součinitele tření musí být rychlejší;

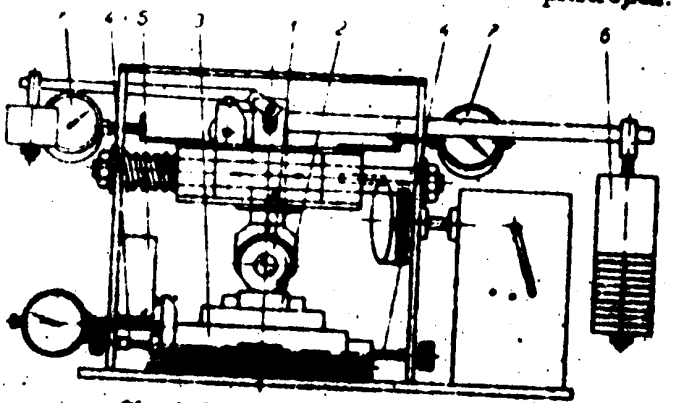
c) při opotřebení vlastní vrstvy MoS_2, tj. při postupném obnažování původního materiálu kluzné plochy, musí nastat pozvolné zvětšování hodnoty součinitele tření a po úplném opotřebení vrstvy MoS_2 má tento součinitel dosáhnout hodnoty tření ploch bez MoS_2;

d) čím později nastane zvětšování hodnoty součinitele tření, tím trvanlivější byla vrstva MoS_2;

e) příznivý vliv MoS_2 se musí projevit i menším opotřebením kluzných ploch.

Použité metody a zkušební zařízení

Obě hodnoty potřebné k posouzení vlivu MoS_2 na kluzné vlastnosti zkoušené dvojice materiálu lze spolehlivě určit na laboratorních přístrojích.



Obr. 1. Zkušební zařízení vyvinuté v SVÚTT

[illegible] USE ONLY

[illegible] SVÚTT (obr. 1), podrobněji popsané [illegible]. V principu používá tato zařízení [illegible] kotoučového kotoučku, který koná [illegible] pohyb po kluzné ploše zkušebního kotoučku. Na ploše kroužku vznikne působením kotoučku [illegible] zvaná „funkční třecí plochou". V jejích stále [illegible] třecích stopách se měří velikost třecí síly a [illegible] roveň se registruje její průběh pomocí kapacitního snímače z obrazovky kapacitního indikátoru filmovou kamerou na plynule se pohybující film.

Opotřebení kluzné plochy kroužku se určuje podle hloubky stopy měřené po pokusu přístrojem Talysurf. Opotřebení kotoučků se určuje na délkovém měřicím přístroji Zeiss.

Střední drsnost *Ra* kluzných ploch zkoušených materiálů se určuje též přístrojem Talysurf. (Označení *Ra* odpovídá označení h_m nebo *B*, podle ČSN 01 4450).

Výsledky laboratorních měření byly ověřeny pokusy na zkušebním axiálním ložisku. Tyto pokusy byly vykonány dvojím způsobem:

A. Po dosažení konstantní malé kluzné rychlosti ($v \doteq 0{,}1$ m/s) bez zatížení bylo ložisko zatíženo takovou silou, aby nastalo mezní tření, projevující se pozvolným a stálým stoupáním teploty povrchu segmentů. Po dosažení jisté teploty nastalo zadírání kluzných ploch. Tento případ [illegible] vystihuje nepříznivé kluzné poměry při [illegible] některých strojů. Při zvýšení kluzné rychlosti [illegible] přešlo do oblasti hydrodynamického tření.

B. Při konstantním měrném zatížení [illegible] ploch (stejné velikou silou jako ad *A*) byla [illegible] rychlost $v \doteq 1{,}7$ m/s zvolna snižována na [illegible] $v \doteq 0{,}1$ m/s. Tím se dosáhlo přechodu [illegible] poměrů z oblasti hydrodynamického mazání [illegible] oblasti mezního tření. Tento případ zhruba odpovídá poměrům při zastavování vodních turbin.

V obou případech byly kluzné poměry posuzovány podle průběhu teploty u povrchu segmentů. Protože konečné kluzné poměry byly v obou případech pokusů prakticky stejné, měly být průběhy teplot a jejich hodnoty u povrchu segmentů, při nichž se objevilo zadírání, také prakticky stejné.

Každé laboratorní měření i pokusy na zkušebním ložisku byly několikrát opakovány, aby se získaly spolehlivé výsledky.

Výchozí hodnoty svelené, resp. dosažené při pokusech, jsou patrny z obr. 2.

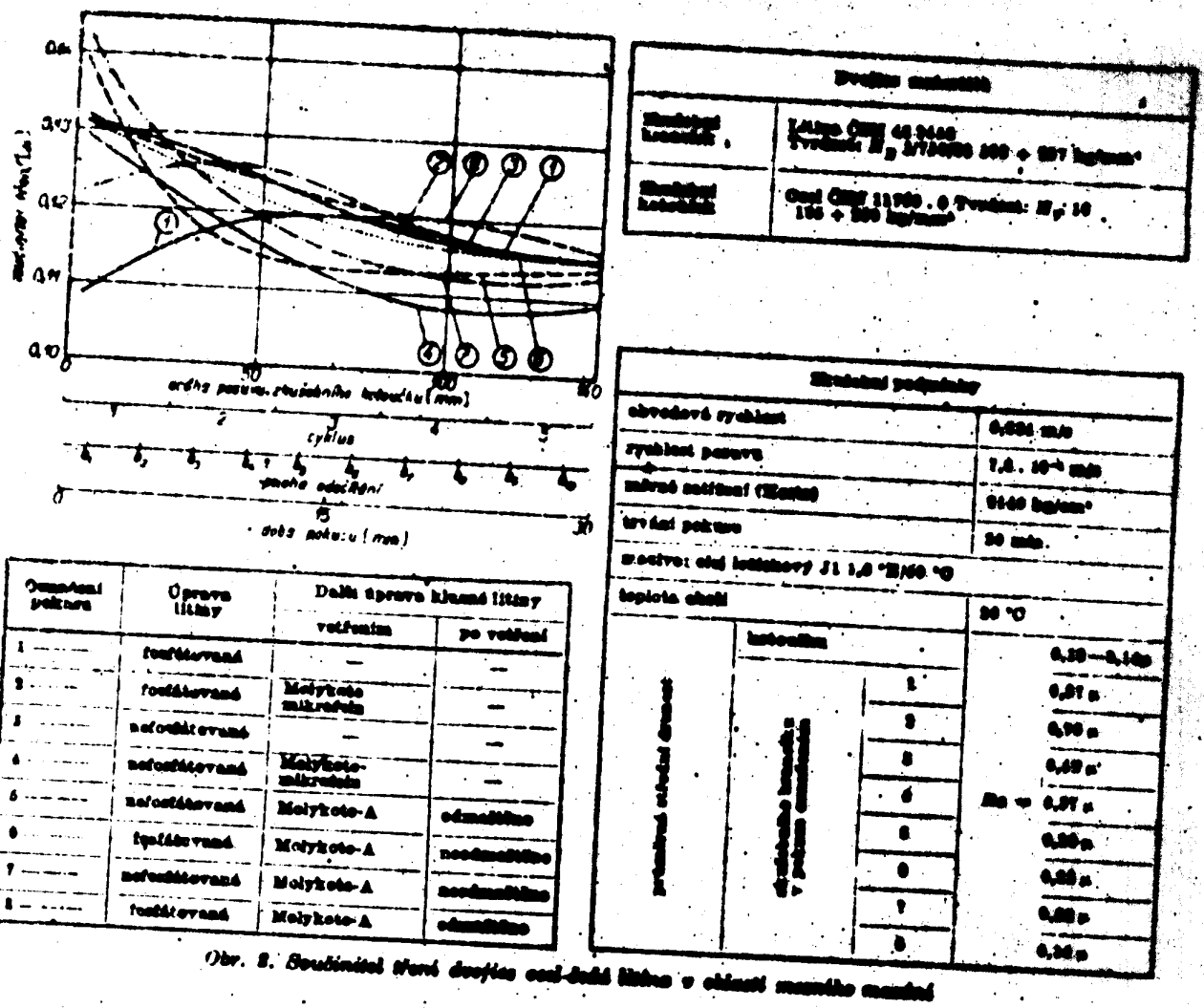
Výsledky měření a pokusů

Druhy zkoušených úprav kluzných ploch a změny jejich drsností po vtírání MoS_2 jsou zachyceny v tab. I. Změny hodnot součinitele tření v obou případech mezního mazání během trvání pokusu jsou patrny z obr. 2. Při posuzování průběhu součinitele tření je třeba si uvědomit, že v prvé fázi trvání pokusu probíhá mezní tření na nezaběhané ploše a že v dalším průběhu pokusu se kluzné plochy [illegible] zaběhávají. Z průběhů křivek součinitele tření na obr. 2 je vidět, že při uvažovaných úpravách kluzných ploch zkoušené dvojice ocel/šedá litina jeví součinitel tření — i při svém velmi [illegible] průběhu během pokusu — tendenci [illegible]

FOR OFFICIAL USE ONLY

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2011/12/13 : CIA-RDP80T00246A015400420001-4

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2011/12/13 : CIA-RDP80T00246A015400420001-4



Označení pokusu	Úprava litiny	Další úprava kluzné litiny	
		vetřením	po vetření
1	fosfátovaná	—	—
2	fosfátovaná	Molykote mikrofein	—
3	nefosfátovaná	—	—
4	nefosfátovaná	Molykote-mikrofein	—
5	nefosfátovaná	Molykote-A	odmaštěno
6	fosfátovaná	Molykote-A	neodmaštěno
7	nefosfátovaná	Molykote-A	neodmaštěno
8	fosfátovaná	Molykote-A	odmaštěno

Zkušební podmínky	
obvodová rychlost	0,024 m/s
zrychlení pohybu	1,8 . 10^{-4} m/s
měrné zatížení (tlaková)	9140 kp/cm²
trvání pokusu	30 min.
mazivo: olej letecký 51 1,5 °E/50 °C	
teplota okolí	20 °C

Obr. 8. Součinitel tření dvojice ocel-šedá litina v oblasti mezního mazání

stejné konečné hodnoty $\mu \doteq 0{,}115$. U některých ze zkoumaných úprav kluzné plochy se tak stalo již v poměrně krátké době 30 min. trvání pokusu (křivky *1*, *2*, *6*). Průběh ostatních křivek ukazuje, že hodnoty $\mu = 0{,}115$ by se dosáhlo při prodloužení doby pokusu. Toto přibližování k určité konstantní hodnotě lze vysvětlit postupným opotřebováním povrchové vrstvy kluzné plochy s různou úpravou, a tím postupným dosažením prakticky stejných konečných kluzných poměrů ve všech zkoumaných případech, tj. poměrů platných pro dvojici ocel-šedá litina bez jakékoli úpravy kluzné plochy (křivka *3*).

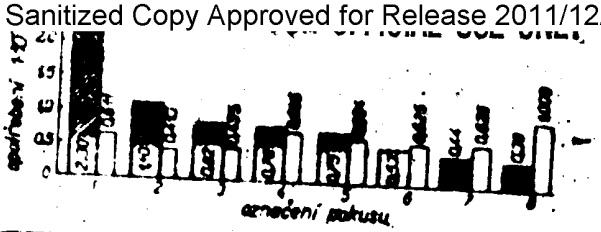
Nejnižší hodnoty součinitele tření $\mu = 0{,}106$ se dosáhlo u litiny nefosfátované s vetřeným práškovým MoS_2 (křivka *4*) asi po 24 min. trvání pokusu. Přibližně za stejnou dobu dosáhl svého minima ($\mu = 0{,}112$) součinitel tření litiny nefosfátované s vetřenou olejovou suspenzí, s kluznou plochou po vtírání MoS_2 neodmaštěnou (křivka *7*). Jen o málo vyšší je hodnota součinitele tření stejně upravené litiny, avšak s kluznou plochou po vtírání MoS_2 odmaštěnou (křivka *5*, $\mu = 0{,}115$). V tomto případě byla trvanlivost vrstvy MoS_2 menší, neboť zmíněného minima součinitele tření se dosáhlo asi za 16 min. Přitom počáteční hodnota součinitele tření byla druhá nejvyšší ($\mu \doteq 0{,}14$) ze všech sledovaných případů. Křivky *8* a *7* svědčí o zpomalením zaběhávání kluzných ploch. Avšak křivka *4*, platná pro nefosfátovanou plochu s práškovým MoS_2, má průběh příznivější.

Zajímavé je porovnání výsledků vlivu MoS_2 na kluzné vlastnosti fosfátované litiny. Při opotřebování vrstvy fosfátu musí nastat zvýšení součinitele tření. Z křivky *1*, která platí pro kluznou plochu bez MoS_2, je vidět, že vrstva fosfátu se velmi rychle opotřebí. Součinitel tření se zvýšil z počáteční minimální hodnoty $\mu = 0{,}108$ asi za 15 min. na maximum $\mu = 0{,}12$ a potom zvolna klesal téměř obdobně se součinitelem tření plochy nefosfátované, bez MoS_2 (křivka *3*). Po vetření MoS_2 do fosfátované plochy (křivky *2*, *6*, *8*) se součinitel tření zvýšil. Nejmenší zvýšení počáteční hodnoty nastalo také při použití práškového MoS_2 (křivka *2*, $\mu = 0{,}126$), avšak trvanlivost vrstvy byla malá, neboť maximum $\mu = 0{,}127$ se dosáhlo jíž za 8 min. Potom klesal součinitel tření téměř obdobně jako v křivce *3*. Při použití olejové suspenze MoS_2 na fosfátované ploše (křivka *6* a *8*) nebyly zjištěny významnější odchylky od hodnot platných pro nefosfátovanou plochu bez MoS_2 (křivka *3*).

Z průběhu křivek vyplývá, že z hlediska mezního součinitele tření je nejvýhodnější úprava nefosfátovaných kluzných ploch práškovým MoS_2. Tento činnost — jako základní úprava kluzné plochy před nanesením MoS_2 — nebyla všeobecně.

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2011/12/13 : CIA-RDP80T00246A015400420001-4

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2011/12/13 : CIA-RDP80T00246A015400420001-4

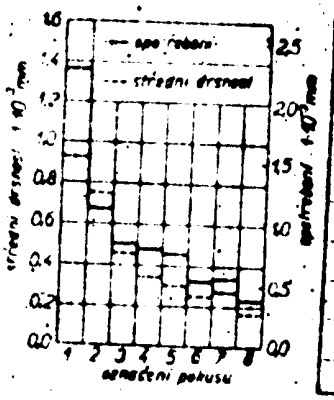


Označení pokusu	Druh litiny	Další úprava kluzné plochy litiny	
		vtíráním	po vtírání
1	fosfátovaná	—	—
2	fosfátovaná	Molykote-mikrofolie	—
3	nefosfátovaná	—	—
4	nefosfátovaná	Molykote-mikrofolie	—
5	nefosfátovaná	Molykote-A	odmaštěno
6	fosfátovaná	Molykote-A	neodmaštěno
7	nefosfátovaná	Molykote-A	neodmaštěno
8	fosfátovaná	Molykote-A	odmaštěno

Ostatní zkušební podmínky na obr. 2

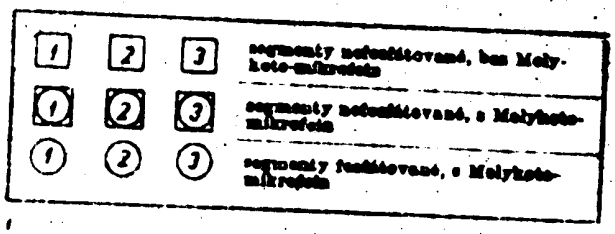
	Materiál	Označení	Tvrdost kluzné plochy
Zkušební kroužek	litina ČSN 422456	■	H_B 5/750/30 198 ÷ 207 kg/mm²
Zkušební kroužek	ocel ČSN 11700.0	□	H_V 10 196 ÷ 200 kg/mm²

Obr. 3. Opotřebení kluzných ploch



Označení pokusu	Základní úprava kluzné plochy kroužku	Další úprava kluzné plochy kroužku		Střední drsnost Ra kluzné plochy	
		vtíráním	po vtírání	kroužku	kotoučku
1	fosfátovaná	—	—	0,87	0,10
2	fosfátovaná	Molykote-mikrofolie	—	0,76	0,13
3	nefosfátovaná	—	—	0,41	0,10
4	nefosfátovaná	Molykote-mikrofolie	—	0,37	0,13
5	nefosfátovaná	Molykote-A	odmaštěno	0,09	0,16
6	fosfátovaná	Molykote-A	neodmaštěno	0,33	0,14
7	nefosfátovaná	Molykote-A	neodmaštěno	0,39	0,11
8	fosfátovaná	Molykote-A	odmaštěno	0,15	0,12

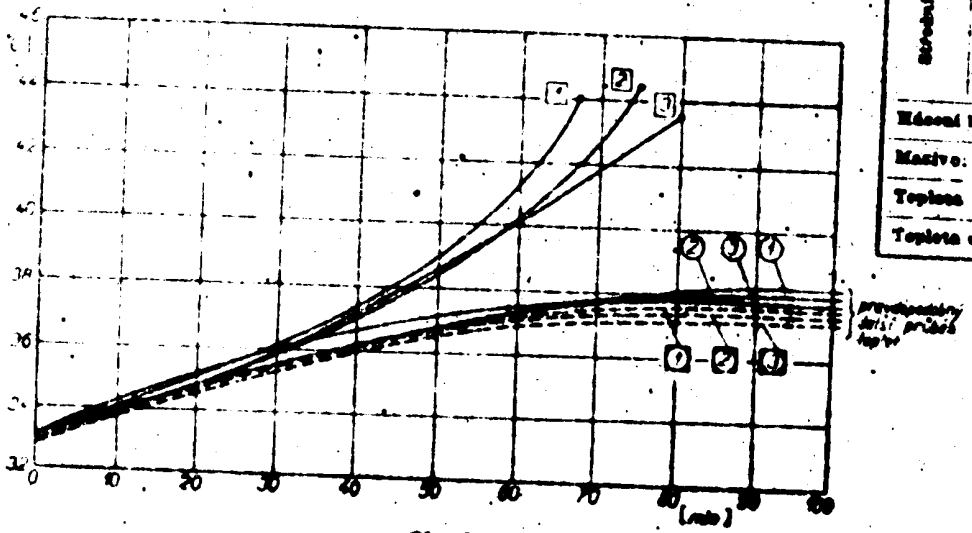
Obr. 4. Závislost opotřebení kluzných ploch na jejich drsnosti


1 2 3 segmenty nefosfátované, bez Molykote-mikrofolie
1 2 3 segmenty nefosfátované, s Molykote-mikrofolií
1 2 3 segmenty fosfátované, s Molykote-mikrofolií

Měrné zatížení $p = 20$ kg/mm²

Kluzná rychlost $v = 0{,}956$ m/s

Výchozí hodnoty	
Segment	ČSN 42 24 50 H_B 5/750/30 196÷207 kg/mm²
Kotouč	ocel ČSN 11700.0 H_V 10 196÷200 kg/mm²
Střední drsnost segmentů	□ 0,42 ○ Ra = 0,37 ○ 0,76
Běhoun	Ra = 0,10 μ
Hloubka běhounu	0,5 μ
Mazivo: olej lot. Ji. 6,17 °E/50°C	
Teplota oleje ve skříni 26—28 °C	
Teplota okolí	19°C

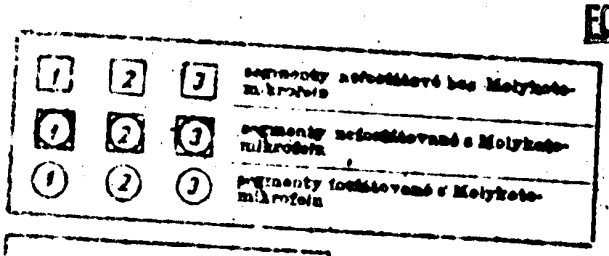


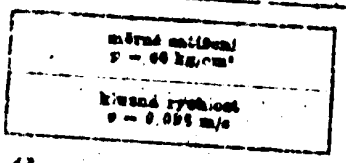
Obr. 5. Průběh teplot na kluzných segmentech

FOR OFFICIAL USE ONLY

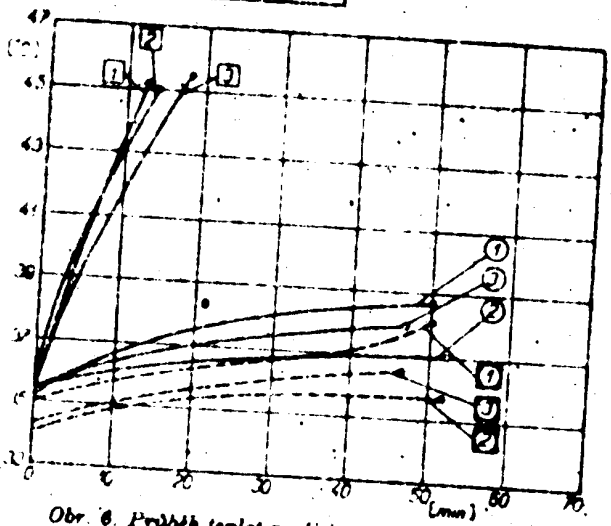
Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2011/12/13 : CIA-RDP80T00246A015400420001-4

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2011/12/13 : CIA-RDP80T00246A015400420001-4

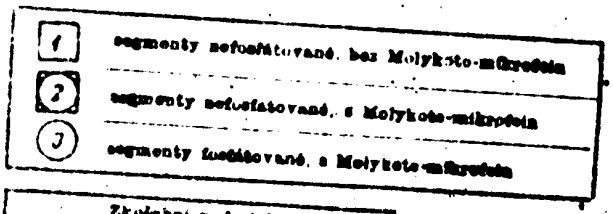

1 2 3 segmenty nefosfátované bez Molykote-mikroplnu
1 2 3 segmenty nefosfátované s Molykote-mikroplnem
1 2 3 segmenty fosfátované s Molykote-mikroplnem

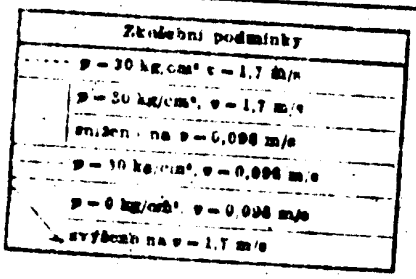


Výchozí hodnoty viz obr. 5

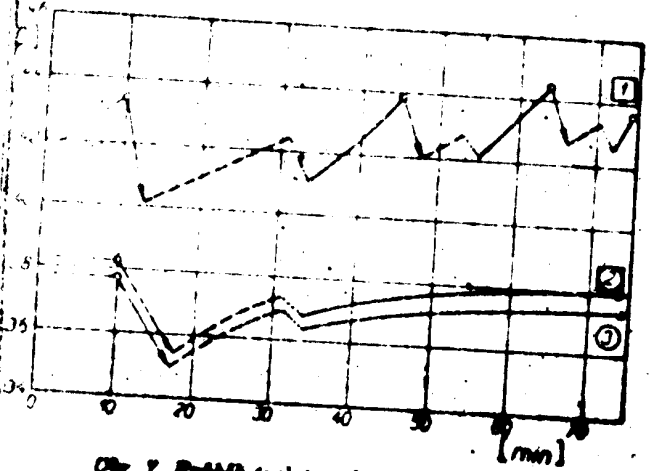


Obr. 6. Průběh teplot na litinových segmentech


1 segmenty nefosfátované, bez Molykote-mikroplnu
2 segmenty nefosfátované, s Molykote-mikroplnem
3 segmenty fosfátované, s Molykote-mikroplnem


Zkušební podmínky
p = 30 kg/cm² v = 1,7 m/s
p = 30 kg/cm², v = 1,7 m/s
snížení na v = 0,098 m/s
p = 30 kg/cm², v = 0,098 m/s
p = 0 kg/cm², v = 0,098 m/s
zvýšení na v = 1,7 m/s

Výchozí hodnoty viz obr. 5



Obr. 7. Průběh teplot na litinových segmentech

Opotřebení kluzných ploch s různou úpravou povrchu je zřejmé z obr. 8. Největší opotřebení měla plocha fosfátovaná, bez vtřeného MoS_2. Při posuzování opotřebení fosfátovaných ploch je však třeba uvážit, že vrstva fosfátu měřila asi 2 až 2,5 μ. Vezmeme-li za základ pro porovnání opotřebení kluzných ploch s různou úpravou povrchu opotřebení nefosfátované plochy bez MoS_2, dostaneme hodnoty uvedené v tab. II.

Z obr. 4 je zřejmé, že opotřebení, tj. trvanlivost vrstvy MoS_2, přímo závisí na střední drsnosti kluzné plochy. Povrchová vtíráním MoS_2 se drsnost kluzných ploch zmenšila *(tab. I)*, lze snížení opotřebení přičíst vlivu MoS_2.

Pokusy na axiálním ložisku

Na axiálním ložisku byly vykonány pokusy se segmenty ze šedé litiny s kluznou plochou nefosfátovanou bez MoS_2 i s vtřeným MoS_2 a s fosfátovaným kluzným povrchem s vtřeným MoS_2.

Na obr. 5 a 6 je uveden průběh teplot na nejteplejším segmentu ložiska v závislosti na měrném zatížení kluzných ploch a na čase, kdy při konstantní kluzné rychlosti $v = 0{,}098$ m/s dosáhlo měrné zatížení hodnoty 30 a 60 kg/cm². Je vidět, že teplota stoupala rychleji při vyšším měrném zatížení, což odpovídá zvětšení výkonu ztraceného třením.

Při zachování stejných zkušebních podmínek stoupaly teploty na segmentech s povrchem nefosfátovaným a bez MoS_2 nejrychleji; při použití MoS_2 bylo stoupání teplot nejpomalejší. Zvyšování teploty segmentů s povrchem fosfátovaným a s vtřeným MoS_2 probíhalo mezi hodnotami teplot zjištěných pro nefosfátovanou kluznou

Tab. I

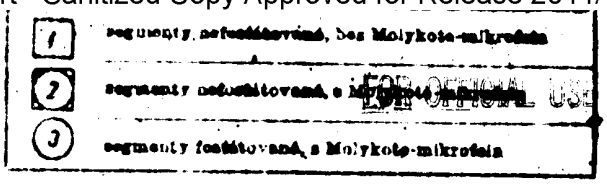
Kluzná plocha litiny	Střední drsnost R_a povrchu kluzné plochy (μ)			
	bez další úpravy povrchu	po vtírání		
		podkladového MoS_2		dílcové segmenty MoS_2 po vtírání
			nedemontováno	odmontováno
nefosfátované	0,42	0,37	0,32	0,29
fosfátované	0,07	0,76	0,23	0,15

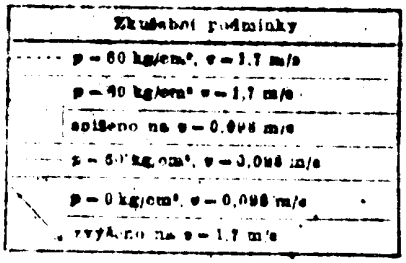
Tab. II

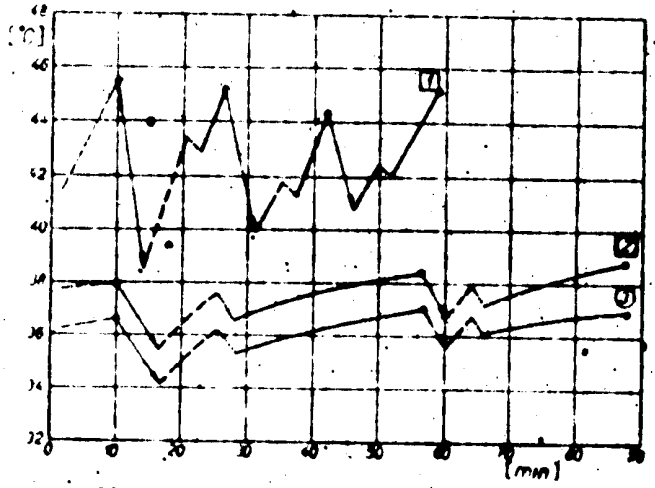
Litina	Opotřebení (%)			
	Úprava kluzné plochy			
	bez další úpravy	podkladový MoS_2	dílcové segmenty MoS_2 po vtírání	
			nedemontováno	odmontováno
nefosfátované	100	95,0	53,7	91,5
fosfátované	100	48,0	23,0	17,0
poměr opotřebení fosfátované plochy k nefosfátované	1,0	1,61	1,90	0,82

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2011/12/13 : CIA-RDP80T00246A015400420001-4

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2011/12/13 : CIA-RDP80T00246A015400420001-4




Zkušební podmínky
p = 60 kg/cm², v = 1,7 m/s
p = 40 kg/cm² v = 1,7 m/s
sníženo na v = 0,098 m/s
p = 60 kg/cm², v = 0,098 m/s
p = 0 kg/cm², v = 0,098 m/s
zvýšeno na v = 1,7 m/s
Výsledné hodnoty viz obr. 8



Obr. 8. Průběh teplot na litinových segmentech

plochu bez MoS_2 a s MoS_2. Toto zjištění odpovídá jak hodnotám součinitelů tření, tak střední měrné drsnosti kluzných povrchů, uvedených v *obr. 4.*

Na obr. 7 a 8 je znázorněn průběh teplot na nejteplejším segmentu axiálního ložiska, kdy při konstantním měrném zatížení byly otáčky běhounu sníženy tak, aby kluzné poměry v ložisku přešly z oblasti hydrodynamického mazání do oblasti mezního tření. Při kluzné rychlosti $v = 1{,}7$ m/s, tj. v oblasti hydrodynamického mazání, bylo ložisko zatíženo 30 a 60 kg/cm², a proto teploty začaly stoupat i při hydrodynamickém mazání. Při následujícím pozvolném snižování kluzné rychlosti až na $v = 0{,}098$ m/s (při konstantním měrném zatížení) se teplota segmentů nejprve snižovala, a to pokud trvalo hydrodynamické mazání. Avšak po dosažení mezního tření začala teplota opět stoupat. Z obrázků je vidět, že teploty, při nichž se opět objevily příznaky zadírání kluzných ploch v této sérii pokusů, se dobře shodují s předchozími pokusy a že i průběh zvyšování teplot v závislosti na čase a na měrném zatížení byl v obou porovnávaných případech téměř shodný. Lze tedy považovat dosažené výsledky za spolehlivé.

Závěr

Vliv MoS_2 na kluzné vlastnosti šedé litiny ČSN 42 2456 byl posuzován podle hodnoty a průběhu součinitele tření v oblasti mezního mazání a podle opotřebení kluzných ploch.

Výsledky laboratorních měření jsou na tab. III, výsledky pokusů na axiálním ložisku jsou na obr. *5, 6, 7, 8.*

Z laboratorních měření plyne, že největší snížení součinitele tření — průměrně o 8 % — se dosáhlo po vtírání práškového MoS_2 do nefosfátované kluzné plochy. Přitom byla trvanlivost vrstvy vtřeného MoS_2 téměř třikrát větší než při vtírání do fosfátovaného povrchu. Opotřebení litiny se zmenšilo asi o 5 %.

Při použití olejové suspenze MoS_2 se součinitel tření změnil jen zcela málo (asi o 2 %), avšak opotřebení kleslo o 46 %. Trvanlivost vrstvy MoS_2 byla asi o 4 % menší než při použití práškového MoS_2.

Z *tab. III* je zřejmé, že zmenšení opotřebení nefosfátovaných ploch vlivem MoS_2 není tak výrazné jako u ploch fosfátovaných. Olejová suspenze MoS_2 zmenšila opotřebení fosfátovaných ploch přibližně na polovinu v porovnání s opotřebením ploch nefosfátovaných s práškovým MoS_2 *(obr. 3).* Avšak z hlediska hodnoty součinitele tření a trvanlivosti vrstvy MoS_2 nepřinesla fosfatizace, jako základní úprava kluzného povrchu před vtíráním MoS_2, žádné výhody.

Podle pokusů na axiálním ložisku lze soudit, že při měrném zatížení kluzných ploch $p \doteq 40$ kg/cm² a kluzné rychlosti $V \doteq 0{,}1$ m/s je možno uvažovat

Tab. III

				Úprava kluzné plochy		
			bez MoS_2	vtírán		
				Molykote-mikrotěsa	+ Molykote A, po vtírání	
					nedomáčené	odmáčené
Kluzná plocha	nefosfátovaná	součinitel tření [%]	100,0	94,0	98,0	102,5
		trvanlivost vrstvy MoS_2 [%]	—	100,0	96,0	64,0
		opotřebení vrstvy MoS_2 [%]	100,0	95,0	53,7	91,5
	fosfátovaná	součinitel tření [%]	100,0	107,0	98,5	103,0
		trvanlivost vrstvy MoS_2 [%]	—	100,0	217,0	asi 235,0
		opotřebení vrstvy MoS_2 [%]	100,0	48,0	23,0	17,0
Porovnání výsledků	nefosfátovaná : 100	součinitel tření [%]	—	94,0	96,5	92,5
		trvanlivost vrstvy MoS_2 [%]	—	278,0	173,0	194,0
	fosfátovaná : 100	opotřebení vrstvy MoS_2 [%]	40,5	68,0	92,3	242,0

*) Porovnávány jsou hodnoty součinitelů tření uvažované dvojice kluzného povrchu, odebírané vždy v téže době pokusu (obr. 8).

FOR OFFICIAL USE ONLY

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2011/12/13 : CIA-RDP80T00246A015400420001-4

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2011/12/13 : CIA-RDP80T00246A015400420001-4

...hrnou bezpečnost trvanlivost vrstvy práškového MoS_2 asi 6 hod. Předpokládáme-li pro rozběh a doběh turbin v oblasti mezního tření celkem asi 10 vteřin, stačila by vrstva šupiček asi na šest spouštění (a zastavení) turbiny. Při spouštění agregátu dvakrát denně by tedy měla vrstva MoS_2 vydržet asi 3 roky. Při této úvaze předpokládáme, že střední drsnost segmentů a běhounu nesmí vzíti nad hodnoty, při kterých se pokusy konaly a že „hásání" běhounu, tj. odchylka jeho kluzné plochy od roviny kolmé k ose otáčení je menší než 0,5 μ a zatížení je rovnoměrně rozloženo na všechny segmenty axiálního ložiska. Přitom musí mít použitý MoS_2 alespoň stejnou čistotu a zrnění jako při pokusech a vtírání MoS_2 musí být velmi pečlivé. Za těchto okolností lze použitím MoS_2 zvýšit v oblasti mezního mazání do jisté míry bezpečnost provozu axiálních ložisek s litinovými segmenty. Pro bezpečný rozběh a doběh je však spolehlivější použití hydrostatického mazání.

Literatura

[1] *I-Ming Feng:* Lubricating Properties of Molybdenum Disulfide. 1952, XII, Lubrication Engineering, str. 285.

[2] *Sonntag, A.:* Molybdenum Disulfide Simplifies, 1954, V, The Iron Age, str. 138.

[3] *Spengler, G.:* Molybdändisulfid, ein neuartiges Schmiermittel, 1956, VI, Z. VDI, Bd. 98, Nr. 17/18, str. 681.

[4] *Rupp, M. O.:* Etude de lubrification avec des suspensions des molybdène colloïdale dans les huiles, 1955, X, Revue de l'Institut Français du Pétrole, čís. 10, str. 1260.

[5] *Gabbert, H.:* Gedanken zum Molybdändisulfid Moll, als Schmiermittel, 1956, V, Kraftfahrzeugtechnik, čís. 5, str. 181.

[6] *Dorn-Gille:* Schmiereigenschaften von Molybdändisulfid-Präparaten natürlicher und synthetischer Herkunft, 1956, VI, Maschinenbautechnik, čís. 6, str. 317.

[7] ČSN 02 2062: Směrnice pro volbu materiálů kluzných ložisek.

[8] *Šmolík, V.:* Vliv síranu molybdeničitého na kluzné vlastnosti a opotřebení litiny. Zpráva čísla: SVÚTT-59-03022.

[9] *Alkin, I. J., Ovčinin, L. N.:* Issledovanije dvusernistovo molybdena v kačestvě smazki. Issledovanije podšipnikov skolženija i smazočnovo obrudovanija, Mašgiz, Moskva 1956.

[10] *Dowson, A. J.:* Sleeve Bearings. Part II: Running-in Characteristics, 1957, Proc. of the Institution of Mech. Engineers, *171*, čís. 35, str 959.

[11] *Vincell-Tyler:* Molybdenum Disulfide, 1959, XI, Solent. Lubrication, čís. 4, str 32.

[12] *Poulon:* Fortschritte der Schmierstoffchemie, 1956, V, Schmiertechnik, čís. 5, str. 227.

Lektor: Ing. A. Dyb

FOR OFFICIAL USE ONLY

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2011/12/13 : CIA-RDP80T00246A015400420001-4

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2011/12/13 : CIA-RDP80T00246A015400420001-4

TRANSLATION

THE EFFECT OF MOLYBDENUM DISULFIDE ON THE SLIDING PROPERTIES OF GREY CASTING IN ROLLER BEARINGS

Inž. V. Ševčík, SVÚTT, Praha (Czechoslovakia)

This article is a compilation of the results of research into the effects of MoS_2 on the sliding properties and wear of grey casting segments in roller bearings of turbines in hydroelectric power plants. Such bearings function under unfavorable conditions, in view of the frequent stop-and-go cycle. The conclusions and principles elicited through the described experiments have general validity and, accordingly, may be applied to other similar bearings.

Introduction.

One of the frequent sources of failure of segmented roller bearings is deficient lubrication at the machine's break-away and make-up, when, due to the slow speed, the heavily loaded bearings do not work under conditions of hydrodynamic friction, but under those of boundary lubrication (boundary friction). The mating surfaces lack a film of the lubricant's free molecules, and the bearing's sliding surfaces are not completely separated. The resulting friction downgrades the performance and causes excessive wear, which shortens the life of the bearings. This occurs particularly in the turbines of such hydroelectric power plants which, for peak results, have to start and stop their equipment several times a day.

As a fast and relatively easy remedy for such conditions the use of molybdenum disulfide (MoS_2) is recommended, in foreign technical literature, applied to the sliding surfaces. Czechoslovakia has had no experience with MoS_2 in roller bearings and, hence, the State Research Institute of Thermal Techniques undertook the pertinent research. The results are summarized in this article.

The structure and lubricating properties of MoS_2 are described in (1), (2), (3), (4), (5), and (6).

Scope of Investigation

The adhesion of the atoms of MoS_2 to the sliding surface is explained as an action of adsorptive forces of the

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2011/12/13 : CIA-RDP80T00246A015400420001-4

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2011/12/13 : CIA-RDP80T00246A015400420001-4

FOR OFFICIAL USE ONLY

MoS_2 atoms on the material of the sliding surface. The adhesion of MoS_2 is the better if the surface is chemically clean and if the MoS_2 was effectively worked into it. MoS_2 is commercially available in four basic forms: as a powder, a suspension in mineral or synthetic oils, in greases, and in lubricating paints (bonded coating). The best adhesion to a chemically clean surface would be with a powder, because then only the oxides of the metal of the sliding surface impede the adsorptive forces from being fully effective. When using MoS_2 suspended in oil, grease or varnish, the adsorptive forces are inhibited both by the metal oxides as well as by the layer of the lubricant or paint. Our experiments were conducted with MoS_2 in powder form, and with the oil-suspended variety. Because the effect of MoS_2 is not relevant in the area of hydrodynamic lubrication, i.e., when the sliding surfaces are separated by a film of lubricant due to adequate sliding speed, we selected a low sliding speed (0,1 to 0,3 m/s) and a commensurate load (min. 30 kg/cm^2) so as to attain boundary friction.

The length of time during which MoS_2 will affect the sliding properties of materials depends on the wear life of MoS_2. This, in turn, is influenced mainly through

a) the kind of material of which the sliding surfaces are made;

b) the surface finish of the sliding surfaces before MoS_2 is applied;

c) the average roughness of the sliding surfaces before and after application of MoS_2;

d) the kind of MoS_2 used, its purity and particle size;

e) the manner of formation of the MoS_2 layer on the sliding surfaces;

f) the type of lubricant used at large.

The tests were performed with a sliding pair "steel ČSN 11 700 - casting ČSN 42 2456", as recommended in norm ČSN 02 3092. The segments of roller bearings are commonly made of steel, with an alloy coating that has superior sliding properties in the area of boundary lubrication. Segments from grey casting have been produced only infrequently, although it is apparent that their use would make for significant savings of materials in short supply. The reasons for the limited use of grey casting are its unsuitable sliding

FOR OFFICIAL USE ONLY

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2011/12/13 : CIA-RDP80T00246A015400420001-4

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2011/12/13 : CIA-RDP80T00246A015400420001-4

Properties in the area of boundary friction (7).

In order to test the effects of the surface preparation on the wear qualities of the applied MoS_2 before burnishing, segments were tested of which the sliding surfaces were not phosphated, and also phosphated segments.

Before the application of MoS_2 the sliding surfaces were carefully degreased by the use of extraction gasoline and tetrachlormethane. The MoS_2 was then rubbed in by means of a steel roller under a test load of 500 kg/cm^2.

The lubricating oils selected for the tests had, at any given temperature, a viscosity closely analogous to the viscosity of the oil that is currently used in the turbine bearings.

Full details about the preparation of the sliding surfaces and of rubbing in the MoS_2 are given in (8).

Evaluation of the Effect of MoS_2 on the Sliding Properties of Materials.

In judging the effect of MoS_2 on the sliding properties of the tested pair of materials in the area of boundary lubrication, it is necessary to consider the following circumstances:

At the start of the test, or when testing a new bearing (not yet broken in), the sliding surfaces will, in the area of boundary friction, start either to wear in or to seize. Under some unfavorable conditions there will even be seizing between surfaces that are already worn-in.

While the sliding surfaces are being broken in, their roughness diminishes and the value of the coefficient of friction decreases. After the wear-in period, and assuming that no deterioration of the operating conditions has taken place meanwhile, both magnitudes will become stabilized on some specific value. At the moment that seizing begins between sliding surfaces, there will be a sudden rise in their roughness, as well as in the coefficient of friction.

If, during the course of the test - while rigidly maintaining identical testing conditions for the broken-in sliding surfaces - the value of the coefficient of friction begins to change, without a corresponding change in the roughness of the sliding surfaces, it means that the sliding properties of at least one of the mating surfaces must have

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2011/12/13 : CIA-RDP80T00246A015400420001-4

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2011/12/13 : CIA-RDP80T00246A015400420001-4

changed. Because there was no change in roughness, it follows that the change must have taken place in the material of the sliding surface. An analogical case arises also through the wearing-out of the sliding top layer of MoS_2, or of the film of phosphate, etc.

So as to make clearly apparent the wear of the surface layer by the changes of the values of the coefficient of friction, the MoS_2 was always burnished into only one of the pair of materials under test. In our case it was the grey casting.

It follows, accordingly, that the effect of MoS_2 on the sliding properties of the pair of materials under test may be judged by two basic values, i.e., the coefficient of friction and the wear of the sliding surfaces.

On the assumption that MoS_2 improves the sliding properties, the following must become evident:

a) the coefficient of friction of the pair "steel - grey casting" with MoS_2 rubbed in, must have lower values than the same combination without the MoS_2.

b) the wearing-in of the sliding surfaces with MoS_2 on them must be at a better rate than that of surfaces without an MoS_2 layer, which means that the initial decrease of the value of the coefficient of friction must be faster.

c) parallel with the wearing-off of the MoS_2 layer, i.e., as the original sliding surfaces become gradually exposed, the value of the coefficient of friction must gradually begin to rise and, once the MoS_2 layer is fully used up, the coefficient of friction should reach a value equal to that when both surfaces are mating without MoS_2.

d) the more the increase in the value of the coefficient of friction was delayed, the more durable was the MoS_2 layer.

e) a favorable effect of the MoS_2 should also be manifested through reduced wear of the sliding surfaces.

Methods Employed and Test Set-up.

The two valences necessary for judging the effect of MoS_2 on the sliding qualities of the pair of materials under test can be reliably determined with laboratory instruments.

In our tests the coefficient of friction was derived

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2011/12/13 : CIA-RDP80T00246A015400420001-4

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2011/12/13 : CIA-RDP80T00246A015400420001-4

FOR OFFICIAL USE ONLY

Fig. 1. Test set-up developed in the SVUTT.

from the friction force as determined on the laboratory rig SVUTT (Fig. 1), and described in more detail in (8). The rig consists in principle of a loaded rotating disc, operating under gradually staggered motion on the sliding surface of a test specimen. This disc action produces a print on the surface of the specimen, called "functional friction surface". Its three sections always remain identical in size, and within these sections the friction force is measured, the course of which may be continuously photographed with a movie camera and thus permanently registered.

The wear of the sliding surface of the specimen is determined in accordance with the depth of the print, as measured after the test by the Talysurf (surface profilometer) instrument. The wear of the disc is determined by a Zeiss distance meter.

The average roughness Ra of the sliding surfaces of the tested materials is, likewise, determined by the Talysurf instrument. (The designation Ra corresponds to the designation "have" or "R_a" per ČSN 01 4450.)

The results of the laboratory measurements were verified by experiments on a test roller bearing. These experiments were carried out in two ways:

A. On reaching a constant low sliding speed ($v=0{,}1$ m/s) with no load, the bearing was subjected to gradual loading until boundary lubrication was reached, manifested by a gradual, steady rise of the temperature of the segments' surfaces. On reaching a certain temperature, the sliding surfaces began to seize. Such an event corresponds roughly to

FOR OFFICIAL USE ONLY

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2011/12/13 : CIA-RDP80T00246A015400420001-4

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2011/12/13 : CIA-RDP80T00246A015400420001-4

unfavorable sliding conditions inherent to the starting cycle of some machines. An increase of the sliding speed would lead into the area of hydrodynamic lubrication.

B. With a constant load on both sliding surfaces (by a force equal to that in (A), the sliding speed of v=1.7 m/s was very gradually reduced to v=0.1 m/s. This gave a transition of the sliding conditions from the region of hydrodynamic lubrication to the area of boundary friction. This event roughly corresponds to the stopping of hydroelectric turbines.

In both instances, the sliding conditions were judged by the course of the temperature on the segments' surfaces. Because the final sliding conditions were in both cases approximately alike, the course of the temperatures and their values at the surface of those segments which developed seizing, practically should also have been alike.

All the laboratory measurements, as well as the experiments on the roller bearing were performed several times to assure dependable results.

All the selected values, respectively obtained in these experiments, are evident from Fig. 2.

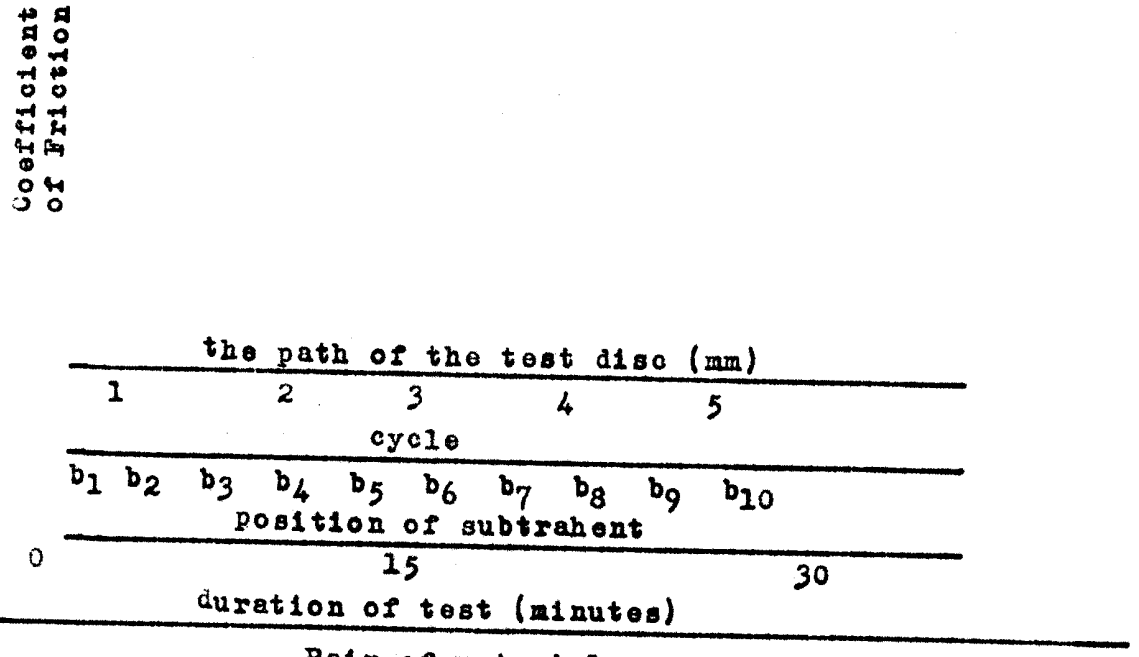
The Results of Measurements and Experiments.

The types of the sliding surface finishes and changes in their roughness as a result of applying the MoS_2 are contained in Table I.

The changes in the values of the coefficient of friction in the region of boundary lubrication are apparent from Fig. 2. When evaluating the course of the coefficient of friction, it must be realized that in the initial phase of the test there is a "new" surface subject to boundary friction (not yet worn in), and as the experiment progresses, the sliding surfaces are gradually worn in. The chart of the coefficients of friction in Fig. 2 makes it obvious that, with the finishes of the tested pair of materials "steel--grey casting", the coefficient of friction displays the tendency - in spite of its different course during the experiment - to reach the same final value $\mu = 0.115$. This happened in the relatively short time of 30 minutes with several surface finishes that were tested (curves 1,2,6). The shape of the remaining curves is an indication that the value $\mu = 0.115$ would be reached by extending the duration of the test. This tendency toward a constant value can be explained by the gradual wear of the top layer of the sliding surfaces'

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2011/12/13 : CIA-RDP80T00246A015400420001-4

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2011/12/13 : CIA-RDP80T00246A015400420001-4



Pair of materials	
Test Specimen	Casting ČSN 42 2456 Hardness H_B 4/750/30 198 + 207 kg/mm^2
Test Disc	Steel ČSN 11700 Hardness H_V 10 195 + 200 kg/mm^2

Fig. 2. The coefficient of friction of the mating pair "steel-grey casting" in the area of boundary lubrication.

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2011/12/13 : CIA-RDP80T00246A015400420001-4

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2011/12/13 : CIA-RDP80T00246A015400420001-4

Designation of test	Basic finish of casting	Ad'l finishing of casting	
		by burnishing	after burnishing
1	phosphated	-	-
2	phosphated	MOLYKOTE Microsize	-
3	not phosphated	-	-
4	not phosphated	MOLYKOTE Microsize	-
5	not phosphated	MOLYKOTE Type A	degreased
6	phosphated	MOLYKOTE Type A	not degreased
7	not phosphated	MOLYKOTE Type A	not degreased
8	phosphated	MOLYKOTE Type A	degreased

Fig. 2. The coefficient of friction of the pair "steel - grey casting" in the area of boundary lubrication.

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2011/12/13 : CIA-RDP80T00246A015400420001-4

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2011/12/13 : CIA-RDP80T00246A015400420001-4

Test conditions

Peripheral speed		0.284 m/s
Speed of advance		$7.8 \times 10^{-}$ m/s
Test loading (Herts)		2140 kg/cm^2
Duration of test		30 min.
Lubricant: bearing oil J1 1.6 °E/50°C		
Ambient temperature		20°C
Average medium roughness of the disc		0.10-0.15 microns
of the prism designated in the test	1	0.87 microns
	2	0.76 microns
	3	0.42 microns
	4	Ra = 0.37 microns
	5	0.29 microns
	6	0.23 microns
	7	0.32 microns
	8	0.15 microns

Fig. 2, cont'd. The coefficient of friction of the mating pair "steel - grey casting" in the area of boundary lubrication.

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2011/12/13 : CIA-RDP80T00246A015400420001-4

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2011/12/13 : CIA-RDP80T00246A015400420001-4

finish, and the eventual gain of practically identical final sliding conditions in all the instances under test, i.e., conditions valid for the pair "steel - grey casting" without any finish on their sliding surfaces (Curve 3).

The lowest value of the coefficient of friction μ=0.108 was reached with a casting that was not phosphated but had powdered MoS_2 burnished in (Curve 4), within approximately 24 minutes under test. It took about the same length of time for the coefficient of friction of a casting that was not phosphated, with oil-suspended MoS_2 rubbed in but thereafter not degreased, to reach its minimum (μ = 0.112), as shown (Curve 7). Only slightly higher is the value of the coefficient of friction of similarly finished castings, except for the sliding surface degreased, after burnishing in of MoS_2 (Curve 5, μ = 0.113). In this instance the durability of the MoS_2 film was less, since the mentioned minimum of the coefficient of friction was reached in only about 16 minutes. At the same time, the initial value of the coefficient of friction (μ = 0.14) was the second highest of all the cases under test. The Curves 6 and 7 give evidence that the wearing in of the sliding surfaces was fast. However, Curve 4, unphosphated surface with powdered MoS_2, shows a more favorable course.

It is interesting to compare the effects of MoS_2 on the sliding properties of phosphated casting. The abrasion of the phosphate layer brings about an increase of the coefficient of friction. From Curve 1, which is valid for the sliding surface without MoS_2, it is apparent that the phosphate layer wears off very fast. The coefficient of friction rose from the initial minimum value μ = 0.108 within about 15 minutes to its maximum μ = 0.12, and thereafter slowly decreased in virtual correspondence to the coefficient of friction of an unphosphated surface, without MoS_2 (Curve 3). After burnishing MoS_2 into a phosphated surface (Curves 2, 6, 8), the coefficient of friction increased. While the smallest increment of the initial value was registered when powdered MoS_2 was used (Curve 2, μ = 0.122), the durability of this film was brief, because the maximum μ = 0.127 was reached within only 8 minutes. Thereafter the coefficient of friction decreased again in near coincidence with Curve 3. The use of oil-suspended MoS_2 on a phosphated surface (Curves 6 and 8) produced no significant deviation from the value applicable to unphosphated surfaces without MoS_2 (Curve 3).

As the shape of the curves shows, the coefficient of friction can most conveniently be reduced by finishing unphosphated sliding surfaces with MoS_2 in powder form. Phos-

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2011/12/13 : CIA-RDP80T00246A015400420001-4

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2011/12/13 : CIA-RDP80T00246A015400420001-4

phating - as the base finish of the sliding surface before the application of MoS_2 - did not prove better.

The wear of the sliding surfaces with different top layer finishes is shown in Picture 3. The highest wear was exhibited by a phosphated surface without MoS_2. However, when evaluating the wear of phosphated surfaces, it must be borne in mind that the phosphate layer measured only 2 to 2.5μ. If, as a base of comparison for the wear of sliding surfaces with varying top layer finishes, we take the wear of an unphosphated surface without MoS_2, we get results as shown in Table II.

It is apparent from Picture 4 that the wear life, i.e., the durability of a layer of MoS_2, is directly proportional to the medium roughness of the sliding surface. Because burnishing of MoS_2 decreased the roughness of the sliding surfaces, as shown in Table I, the decrease in wear may be attributed to the effect of MoS_2.

Tests on Roller Bearings

The tested roller bearings comprised segments of grey casting with sliding surfaces not phosphated, both without MoS_2 and with MoS_2 rubbed in, as well as with a phosphated sliding surface and the MoS_2 rubbed in.

Figures 5 and 6 show the course of temperatures on the warmest segment of the bearing as dependent both on the specified test load and on the time, when with a constant sliding speed v = 0.098 m/s the test loads reached a value of 30 and 60 kg/cm^2. It is apparent that the temperature rose faster with an increasing test load, which corresponds to the increased power loss through friction.

When identical test conditions were maintained, the temperature rise on the segments with unphosphated surfaces and without MoS_2 was steeper; with the use of MoS_2 the temperature rise was the slowest. The increase in temperature of the segments with a phosphated surface and with MoS_2 burnished in fell within the range of temperature values established for sliding surfaces that were not phosphated, both with and without the additional application of MoS_2. These conclusions conform both to the values of the coefficients of friction, as well as to the average medium roughness of the sliding surfaces, as shown in Picture 4.

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2011/12/13 : CIA-RDP80T00246A015400420001-4

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2011/12/13 : CIA-RDP80T00246A015400420001-4

wear

Test designation

casting Designation

Hardness of sliding surface

Test specimen

Test disc

steel

Fig. 3. Wear of sliding surfaces

wear

medium roughness

Medium roughness

wear

test designation

Fig. 4. Relationship of wear of sliding surfaces to their roughness.

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2011/12/13 : CIA-RDP80T00246A015400420001-4

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2011/12/13 : CIA-RDP80T00246A015400420001-4

Test designation	Finish of casting	Ad'l. finishing of sliding surfaces	
		by burnishing	after burnishing
1	phosphated	-	-
2	phosphated	MOLYKOTE Microsize	-
3	not phosphated	-	-
4	not phosphated	MOLYKOTE Microsize	-
5	not phosphated	MOLYKOTE Type A	degreased
6	phosphated	MOLYKOTE Type A	not degreased
7	not phosphated	MOLYKOTE Type A	not degreased
8	phosphated	MOLYKOTE Type A	degreased

Additional conditions of test in Figure 2.

Fig. 3. Wear of the sliding surfaces

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2011/12/13 : CIA-RDP80T00246A015400420001-4

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2011/12/13 : CIA-RDP80T00246A015400420001-4

Test design	Basic finish of sliding surface of specimen	Ad'l finishing of slid. surf. of specimen		* Medium roughness Ra of slid. surf.	
		by burnishing	after burnishing	of Specimen	of disc
1	phosphated	-	-	0.87	0.10
2	phosphated	MOLYKOTE Microsize	-	0.76	0.13
3	not phosphated	-	-	0.41	0.10
4	not phosphated	MOLYKOTE Microsize	-	0.37	0.13
5	not phosphated	MOLYKOTE Type A	degreased	0.29	0.12
6	phosphated	MOLYKOTE Type A	not degreased	0.23	0.14
7	not phosphated	MOLYKOTE Type A	not degreased	0.32	0.11
8	phosphated	MOLYKOTE Type A	degreased	0.15	0.12

Fig. 4a Relationship of wear of sliding surfaces to their roughness.

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2011/12/13 : CIA-RDP80T00246A015400420001-4

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2011/12/13 : CIA-RDP80T00246A015400420001-4

segments not phosphated without MOLYKOTE Microsize

segments not phosphated with MOLYKOTE Microsize

segments phosphated with MOLYKOTE Microsize

Test load	$p = 30$ kg/cm^2
Sliding speed	$v = 0.098$ m/s

Resulting values			
Segments	CSN 42 24 56 HB 5/750/30 198 + 207 kg/cm^2		
Runner	steel ČSN 11700.0 Hv 10 195 + 200 kg/mm^2		
medium roughness	of segments designated	Ra =	0.42
			0.37
			0.76
	of runner	Ra =	0.19 μ
Throw of runner		= 0.5 μ	
Lubricant: bearing oil J1 4.47 °E/50°C			
Temperature of encased oil: 26 - 28°C			
Ambient temperature 19°C			

Fig. 5a The course of temperatures on casting segments.

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2011/12/13 : CIA-RDP80T00246A015400420001-4

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2011/12/13 : CIA-RDP80T00246A015400420001-4

FOR OFFICIAL USE ONLY

Fig. 5. The course of temperatures on casting segments

Pictures 7 and 8 show the course of temperatures on the warmest segment of a roller bearing, when with a constant test load the turns of the runner were reduced so as to shift the lubricating conditions in the bearing from the area of hydrodynamic lubrication to the area of boundary friction. With a sliding velocity v = 1.7 m/s, i.e., in the area of hydrodynamic lubrication, the bearing was loaded with 30 and 60 kg/cm^2 respectively, so that the temperatures started to rise even under the hydrodynamic lubrication conditions. With the subsequent lowering of the sliding speed down to v = 0.098 m/s (while maintaining the test load unchanged), the segments' temperature at first began to fall, that is, while hydrodynamic lubrication was obtained. However, on reaching boundary friction, the temperature began to rise again. It follows from the pictures that the temperatures, showing as they repeatedly did in this test series symptoms of sliding surfaces starting to seize, run a course that coincides well with the preceding tests, and that the average temperature rise was, in both instances, quite similarly dependent on time and the test load. Hence, the results of the tests may be considered reliable.

FOR OFFICIAL USE ONLY

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2011/12/13 : CIA-RDP80T00246A015400420001-4

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2011/12/13 : CIA-RDP80T00246A015400420001-4

segments not phosphated without MOLYKOTE Microsize
segments not phosphated with MOLYKOTE Microsize
segments phosphated with MOLYKOTE Microsize

Test load p = 60 kg/cm^2

Resulting value in Fig. 5
Sliding speed v = 0.98 m/s

Fig. 6. The course of temperatures on casting segments.

segments not phosphated without MOLYKOTE Microsize
segments not phosphated with MOLYKOTE Microsize
segments phosphated with MOLYKOTE Microsize

Resulting values in Fig. 5.

Test conditions
p=30 kg/cm^2, v=1.7 m/s
p=30 kg/cm^2, v=1.7 m/s reduced to v=0.098 m/s
p=30 kg/cm^2, v=0.098 m/s
p= 0 kg/cm^2, v=0.098 m/s increased to v=1.7 m/s

Fig. 7. The course of temperatures on casting segments.

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2011/12/13 : CIA-RDP80T00246A015400420001-4

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2011/12/13 : CIA-RDP80T00246A015400420001-4

Fig. 7. The course of temperatures on casting segments.

Table I.

Sliding surface of casting without further finishing	powder MoS_2 Med. roughness on sliding surf. after burnishing in oil suspended MoS_2 after burnishing in	
	not degreased	degreased
Phosphated		
not phosphated		

Table II.

Casting without further finishing

powder MoS_2 - MOLYKOTE Microsize

Finish of sliding surface	Wear (%) oil suspended MoS_2 after burnishing in	
	not degreased	degreased
not phosphated		
phosphated		
Wear ratio of phosphated surface to not phosphated surface		

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2011/12/13 : CIA-RDP80T00246A015400420001-4

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2011/12/13 : CIA-RDP80T00246A015400420001-4

segments not phosphated without MOLYKOTE Microsize
segments not phosphated with MOLYKOTE Microsize
segments phosphated with MOLYKOTE Microsize
Test conditions
p=60 kg/cm^2, v=1,7 m/s
p=60 kg/cm^2, v=1,7 m/s reduced to v=0,098 m/s
p=60 kg/cm^2, v=0,098 m/s
p= 0 kg/cm^2, v=0,098 m/s increased to v=1,7 m/s

Resulting values in Fig. 5.

Fig. 8. The course of temperatures on casting segments.

Conclusion

The effect of MoS_2 on the sliding properties of grey casting ČSN 42 2456 was judged by the value and the course of the coefficient of friction in the region of boundary lubrication, and by the wear of the sliding surfaces. The results of the laboratory measurements are given in Table III the results of tests on a roller bearing are in Figures 5, 6, 7, and 8.

It follows from the laboratory measurements that the greatest reduction of the coefficient of friction - an average of 6% - was obtained by burnishing MoS_2 in powder

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2011/12/13 : CIA-RDP80T00246A015400420001-4

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2011/12/13 : CIA-RDP80T00246A015400420001-4

form into a sliding surface that had not been phosphated. The durability of the applied layer of MoS_2 in such case was three times greater than when MoS_2 was applied to a phosphated surface. The abrasion of the casting was reduced by approximately 5%.

When using MoS_2 suspended in oil, the coefficient of friction changed but very little (by about 2%), but the abrasion was reduced by 46%. The durability of the MoS_2 layer was some 4% less than in the case when MoS_2 in powder form was applied.

It is apparent from Table III that the effect of MoS_2 on decrease in wear of non-phosphated surfaces is not as striking as in the case of phosphated surfaces. Oil suspended MoS_2 cuts abrasion of phosphated surfaces approximately in half, as compared to the abrasion of non-phosphated surfaces to which applied MoS_2 had been in powder form (Fig. 3). However, from the standpoint of the value of the coefficient of friction and of the durability of the MoS_2 layer, there was no advantage to phosphating the sliding surfaces prior to the application of the MoS_2.

The tests on the roller bearing reveal that, with a test load $p = 40$ kg/cm^2 on the sliding surfaces, and a sliding velocity $v = 0.1$ m/s, the durability of the MoS_2 in powder form can be reliably expected to reach about 6 hours. If we assume that, in the region of boundary friction, a turbine needs about 10 seconds to start and stop, a layer of phosphate should be good for approximately 2000 starts (and stops). Therefore, when turning on "the plants" twice a day, the MoS_2 layer should be good for about 3 years.

In these calculations we assume that the medium roughness of the segments and of the runner does not exceed the values employed in the above tests, and that the "throw" of the runner, that is the deviation of its sliding surface from the plane perpendicular to the axis of rotation, is less than 0.5 μ, and that the load is evenly distributed over all the segments of the roller bearing. Moreover, the MoS_2 employed must be of at least equal purity and particle size as the kind used in the tests, and the application of the MoS_2 must be done with utmost care.

Under such conditions it is possible, by using MoS_2, to increase, up to some extent, the safety factor of roller bearings with segments of grey casting, in the region of

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2011/12/13 : CIA-RDP80T00246A015400420001-4

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2011/12/13 : CIA-RDP80T00246A015400420001-4

Table III

			less MoS_2	Finish of sliding surface burnishing		
				MOLY KOTE Micro size	MOLYKOTE A after burn. Not degreased	MOLYKOTE A after burn. degreased
Sliding surface	not phosphated	Coefficient of friction (%)*	100.0	94.0	98.0	102.5
		Wear life of layer of MoS_2 (%) (durability)	-	100.0	96.0	64.0
		Wear of layer of MoS_2 (%) (abrasion)	100.0	95.0	53.7	91.5
	phosphated	Coefficient of friction (%)*	100.0	107.0	98.5	103.0
		Durability of layer of MoS_2 (%)	-	100.0	217.0	about 235.0
		Abrasion of layer of MoS_2 (%)	100.0	48.0	23.0	17.0
Comparison of results	not phosphated : phosphated = 100 :	Coefficient of friction (%)*	-	94.0	96.5	92.5
		Durability of layer of MoS_2 (%)	-	278.0	173.0	194.0
		Abrasion of layer of MoS_2	40.5	68.0	92.3	242.0

* The above is a comparison of the coefficients of the sliding surfaces of the "pair", at identical points of time in the test.

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2011/12/13 : CIA-RDP80T00246A015400420001-4

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2011/12/13 : CIA-RDP80T00246A015400420001-4

boundary lubrication. However, for truly safe stopping and starting, it is still better to rely on hydrodynamic lubrication.

Literature References

(1) I-Ming Feng: Lubricating Properties of Molybdenum Disulfide. 1952, XII, Lubrication Engineering, str. 285.
(2) Sonntag, A.: Molybdenum Disulfide Simplifies, 1954, V, The Iron Age, str. 128.
(3) Spengler, G.: Molybdändisulfid, ein

(4)

(5)

(6)

(7)

(8) Ševčik, V.: Vliv sirniku molybdeničitého na kluzné vlastnosti a opotrebeni litiny. Zpráva čislo: SVUTT. 59-03028.
(9) Alšic, I.J.; Ouškina, L.N.: Issledovanije dvussrnistovo molybdena v kačostvě smazki. Issledovanije podšipnikov skolšenija i smaznočnovo oborudovanija, Mazgiz, Moskva, 1958.
(10) Davis, A.J.: Sleeve Bearings, Part II; Running-in Characteristics, 1957. Proc. of the Institution of Mech. Engineers, 171, cis. 35, str. 950.
(11) Vihsall-Tylor: Molybdenum-Disulfide, 1959, XI, Scient. Lubrication, cis. 4, str. 32.
(12) Foulon: Fortschritte der Schmierstofftechnik, 1958, V. Schmiertechnik, cis. 5, str. 227.

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release 2011/12/13 : CIA-RDP80T00246A015400420001-4